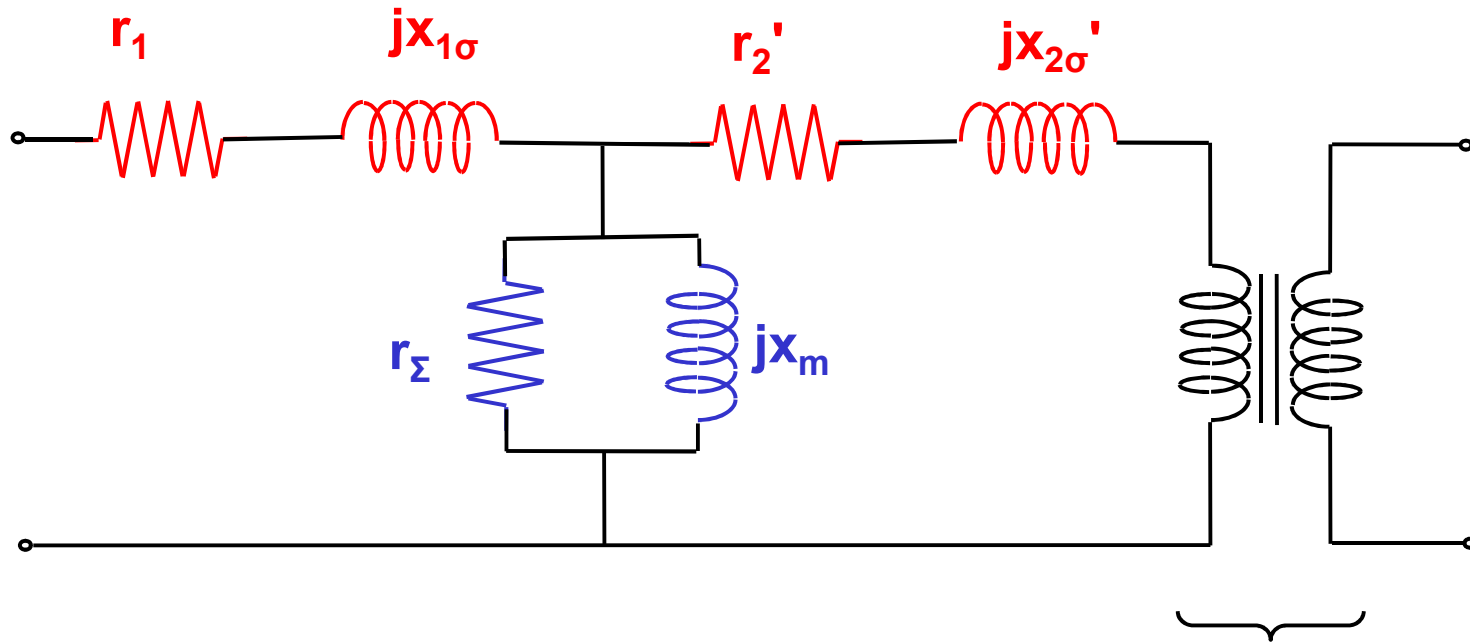




## Μετασχηματιστές ανά φάση ισοδύναμο κύκλωμα

ανηγμένο στο πρωτεύον (παράμετροι πυρήνα και τυλιγμάτων)



$$r_{\Sigma} \gg j X_m \gg j (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}') \gg (r_1 + r_2')$$

$$X_{1\sigma} \approx X_{2\sigma}' , \quad r_1 \approx r_2'$$

Ιδανικός μετασχηματιστής



## Ανά Μονάδα Σύστημα - Μετασχηματιστές

### Εφαρμογή

Σε τριφασικό ΜΣ 50 kVA, 20 kV / 380 V, 50 Hz μετρήθηκαν κατά τη δοκιμή βραχυκυκλώματος υπό ονομαστικό ρεύμα τάση βραχυκυκλώματος 5% και απώλειες 0,5% ενώ κατά τη δοκιμή κενού φορτίου υπό ονομαστική τάση ρεύμα κενού φορτίου 2% και απώλειες 0,4%. Ζητούνται να υπολογισθούν:

- α) Οι παράμετροι του ανά φάση ισοδυναμού κυκλώματος ανηγμένες στην πλευρά ΧΤ του ΜΣ και σε ανά μονάδα σύστημα με ονομαστικές βάσεις.
- β) Η ΕΠΤ και ο βαθμός απόδοσης όταν τροφοδοτεί στην πλευρά ΧΤ ονομαστικό φορτίο με  $\Sigma I = 0,8$  επαγωγικό.



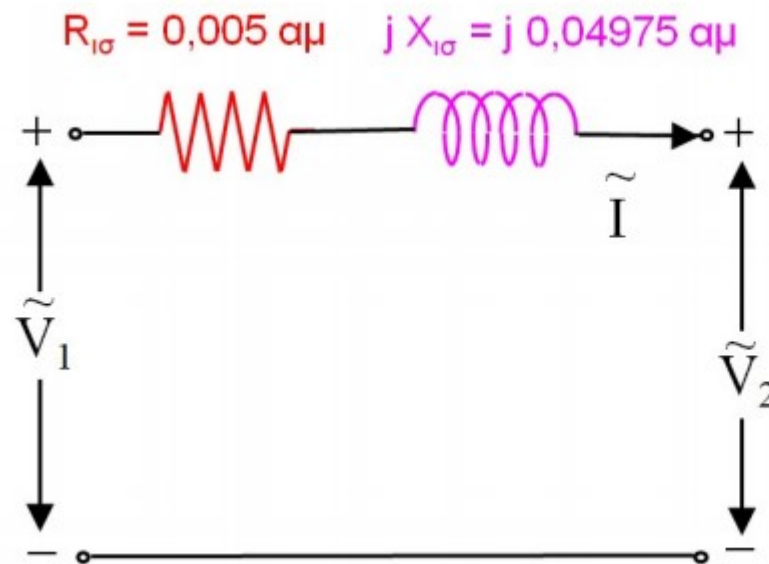
## Λύση

α) Από τη δοκιμή βραχυκυκλώματος προκύπτει:

$$Z_{l\sigma} = Z_{\beta\rho} = (V_{\beta\rho}/I_{\beta\rho}) = (0,05/1) \text{ αμ} = 0,05 \text{ αμ}$$

$$R_{l\sigma} = (P_{\beta\rho}/I_{\beta\rho}^2) \text{ αμ} = (0,005/1^2) \text{ αμ} = 0,005 \text{ αμ}$$

$$X_{l\sigma} = \sqrt{(Z_{l\sigma}^2 - R_{l\sigma}^2)} = \sqrt{(0,05^2 - 0,005^2)} \text{ αμ} = 0,04975 \text{ αμ}$$





## Λύση

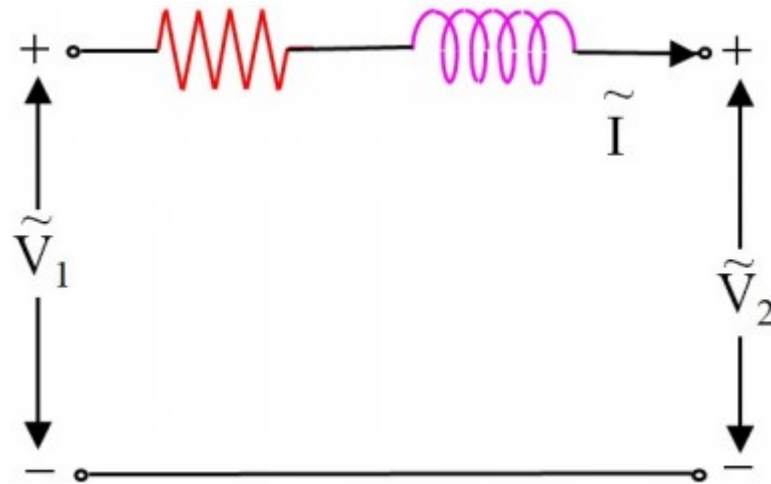
Σε φυσικές μονάδες ( $\Omega$ ) οι τιμές αντιστάσεων θα είναι:

$$Z_{BXT} = V_{BXT}^2 / S_B = (380 \text{ V})^2 / 50 \times 10^3 \text{ VA} = 2,888 \Omega$$

$$R_{\iota\sigma}'' = R_{\iota\sigma}(\alpha\mu) Z_{BXT}(\Omega) = (0,005 \alpha\mu) (2,888 \Omega) = 0,0144 \Omega$$

$$X_{\iota\sigma}'' = X_{\iota\sigma}(\alpha\mu) Z_{BXT}(\Omega) = (0,04975 \alpha\mu) (2,888 \Omega) = 0,1437 \Omega$$

$$R_{\iota\sigma}'' = 0,0144 \Omega \quad j X_{\iota\sigma}'' = j 0,1437 \Omega$$





## Λύση

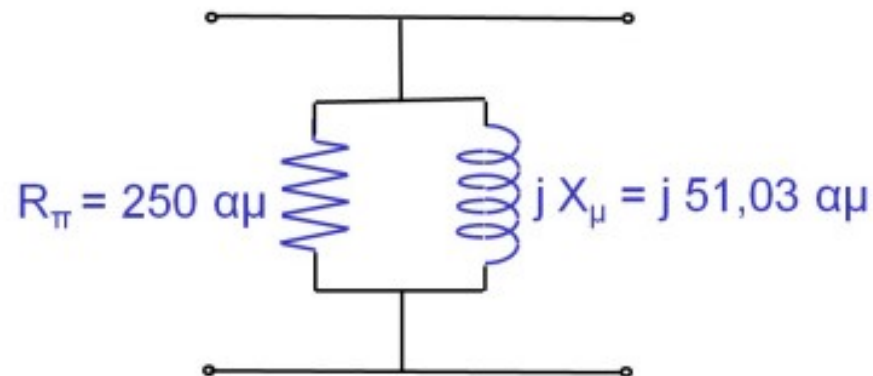
Από τη δοκιμή ανοικτού κυκλώματος προκύπτει:

$$Z_{\alpha\kappa} = (V_{\alpha\kappa}/I_{\alpha\kappa}) = (1/0,02) \text{ α}\mu = 50 \text{ α}\mu$$

$$R_{\pi} = (V_{\alpha\kappa}^2/P_{\alpha\kappa}) = (1^2/0,004) \text{ α}\mu = 250 \text{ α}\mu$$

$$(1/Z_{\alpha\kappa})^2 = (1/R_{\pi})^2 + (1/X_{\mu})^2 = (1/50 \text{ α}\mu)^2 + (1/250 \text{ α}\mu)^2$$

$$\Rightarrow X_{\mu} = 51,03 \text{ α}\mu$$



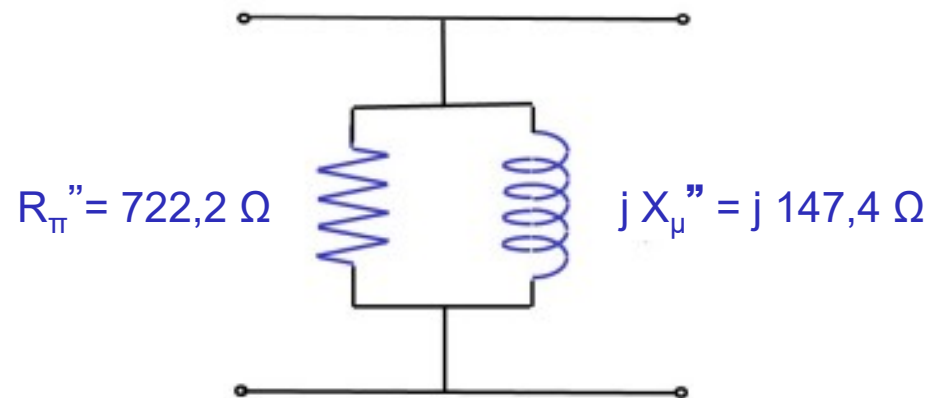


## Λύση

Σε φυσικές μονάδες ( $\Omega$ ) οι τιμές αντιστάσεων θά είναι:

$$R_{\pi}'' = R_{\pi}(\alpha_{\mu}) Z_{B\chi T}(\Omega) = (250 \alpha_{\mu}) (2,888 \Omega) = 722,2 \Omega$$

$$X_{\mu}'' = X_{\mu}(\alpha_{\mu}) Z_{B\chi T}(\Omega) = (51,03 \alpha_{\mu}) (2,888 \Omega) = 147,4 \Omega$$

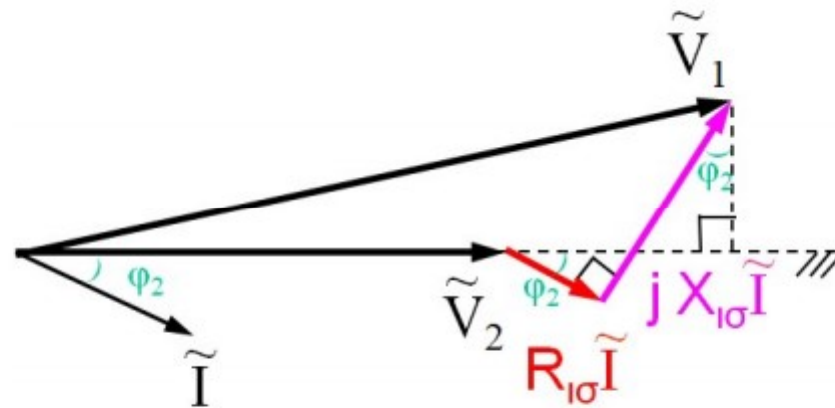




## Λύση

$$\beta) \tilde{V}_1 = \tilde{V}_2 + (R_{1\sigma} + j X_{1\sigma}) \tilde{I} = 1 \angle 0^\circ \text{ αμ} + (0,005 + j 0,04975) (1 \angle -36,9^\circ) \text{ αμ}$$

$$\tilde{V}_1 = 1,034 \angle 2,04^\circ \text{ αμ} \Rightarrow \text{ΕΠΤ} = 3,4 \%$$



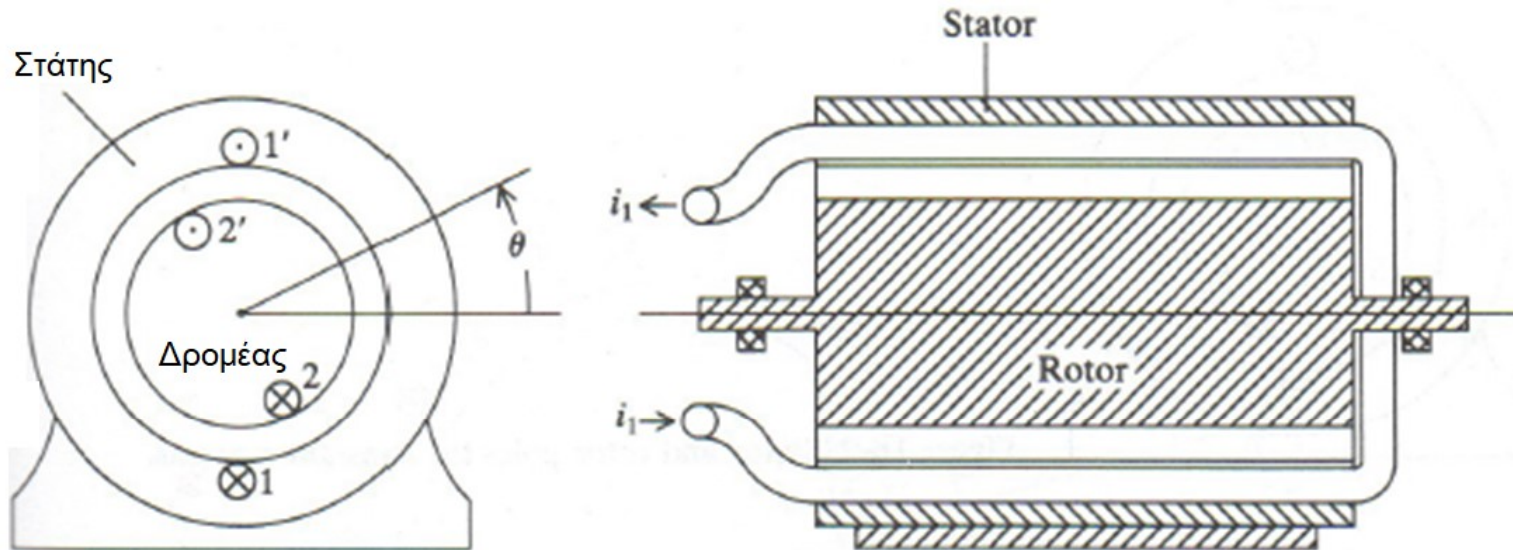
$$\eta = \frac{V_2 I \cos(\varphi_2)}{V_2 I \cos(\varphi_2) + P_{\text{απ.πυρ.}} + R_{1\sigma} I^2}$$

$$\eta = (0,8 \text{ αμ}) / (0,8 + 0,004 + 0,005) \text{ αμ} = 0,99 \text{ ή } 99 \%$$





## Ηλεκτρομηχανική Μετατροπή Ενέργειας Διατάξεις με δύο διεγέρσεις και ομοιόμορφο διάκενο



$$L_{11} = \frac{N_1^2}{R} = \text{σταθ.}$$

$$L_{22} = \frac{N_2^2}{R} = \text{σταθ.}$$

$$W'_\pi(i_1, i_2, \theta) = \frac{1}{2} L_{11} i_1^2 + \frac{1}{2} L_{22} i_2^2 + L_{\max} \cos(\theta) i_1 i_2$$

$$L_{12}(\theta) = L_{21}(\theta) = M(\theta) = \frac{N_1 N_2}{R} \cos(\theta) = L_{\max} \cos(\theta) \quad T_\pi = -L_{\max} \sin(\theta) i_1 i_2$$

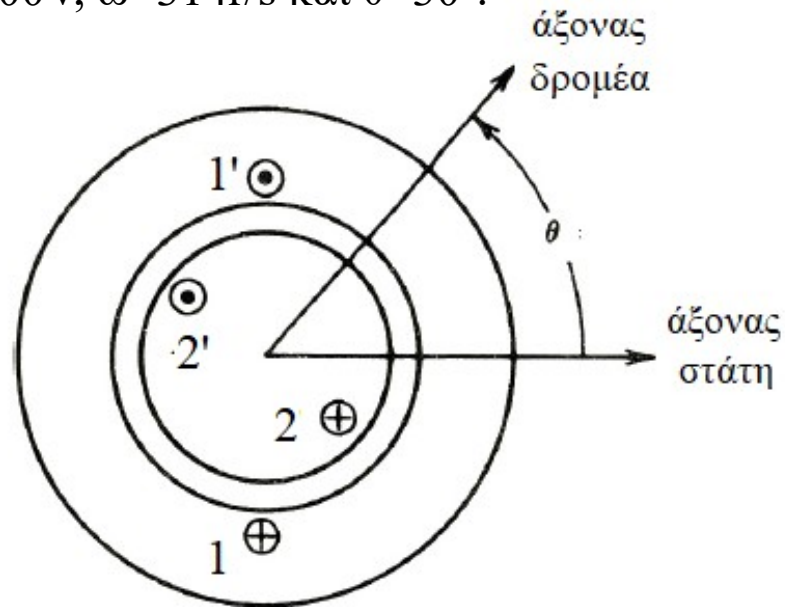




# Ηλεκτρομηχανική Μετατροπή Ενέργειας

## Εφαρμογή

Η διάταξη του σχήματος έχει πηνία στο σταθερό μέρος (στάτη) και το στρεφόμενο μέρος (δρομέα) των οποίων οι αυτεπαγωγές είναι  $L_{11} = L_{22} = 2 \text{ H}$  και οι αμοιβαίες επαγωγές  $L_{12} = L_{21} = \cos\theta \text{ H}$ . Τα πηνία έχουν αμελητέες ωμικές αντιστάσεις και συνδέονται παράλληλα με ιδανική πηγή τάσεως  $v(t) = V_m \sin(\omega t)$ . Να υπολογισθεί η μέση ροπή συναρτήσει της γωνιακής μετατόπισης  $\theta$  και να υπολογισθεί η τιμή της για  $V_m = 100 \text{ V}$ ,  $\omega = 314 \text{ rad/s}$  και  $\theta = 30^\circ$ .





## Λύση

Η ροπή είναι:

$$T = -(\sin \theta) i_1 i_2$$

Εξισώσεις τάσεως πηνίων:

$$V_m \cos \omega t = 2 \frac{di_1}{dt} + (\cos \theta) \frac{di_2}{dt}$$

$$V_m \cos \omega t = (\cos \theta) \frac{di_1}{dt} + 2 \frac{di_2}{dt}$$

Επιλύοντας το σύστημα εξισώσεων προκύπτει

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{di_2}{dt} = \frac{V_m \sin \omega t}{(2 + \cos \theta)}$$

Ολοκληρώνοντας υπολογίζονται τα ρεύματα

$$i_1 = i_2 = \frac{V_m \sin \omega t}{\omega(2 + \cos \theta)}$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση της ροπής:

$$T = -\frac{V_m^2 \sin \theta}{(2 + \cos \theta)^2 \omega^2} \sin^2 \omega t$$

Η μέση ροπή είναι:

$$\bar{T} = -\frac{V_m^2 \sin \theta}{2(2 + \cos \theta)^2 \omega^2}$$

$$\theta = 30^\circ, v = 100 \sin 314t$$

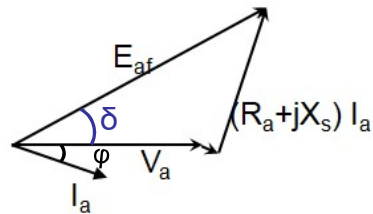
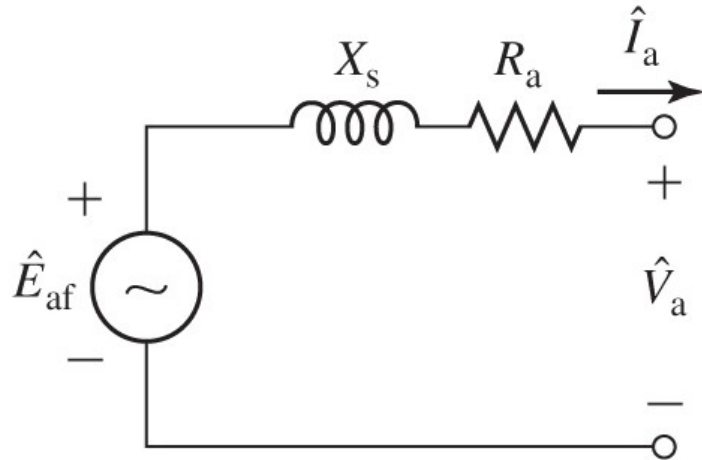
Οπότε η μέση ροπή εκφράζεται:

$$\bar{T} = -\frac{(100)^2 \sin 30^\circ}{2(2 + \cos 30^\circ)^2 \times (314)^2} = -0.069 \text{ Nm}$$



## Σύγχρονες Μηχανές

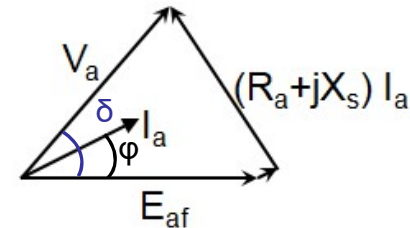
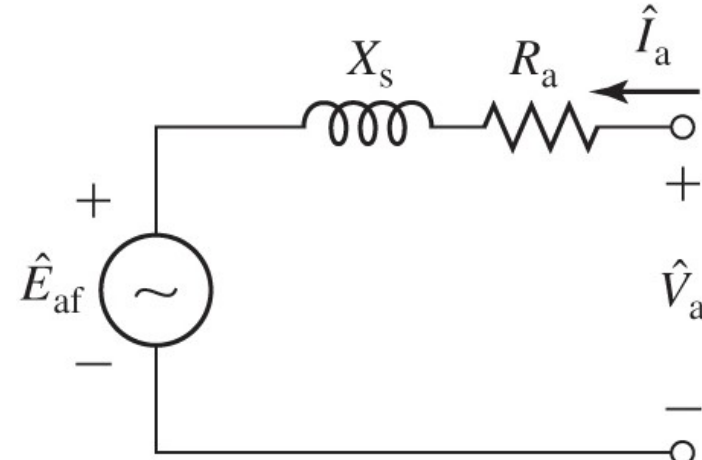
### Ανά φάση Ισοδύναμο Κύκλωμα



#### Λειτουργία Γεννήτριας

( $V_a < E_{af} \cos\phi$ : παραγωγή αέργου ισχύος)

$$\hat{V}_a = -R_a \hat{I}_a - jX_s \hat{I}_a + \hat{E}_{af}$$



#### Λειτουργία Κινητήρα

( $V_a > E_{af} \cos\phi$ : απορρόφηση αέργου ισχύος)

$$\hat{V}_a = R_a \hat{I}_a + jX_s \hat{I}_a + \hat{E}_{af}$$



## Σύγχρονες Μηχανές

### Εφαρμογή

Τριφασική σύγχρονη γεννήτρια 1200kVA, 3300V, 50 Hz, συνδέσεως αστέρα κατά τη δοκιμή συνεχούς ρεύματος μετρήθηκε πολική τάση 100V και ρεύμα 200A ενώ κατά τη δοκιμή βραχυκυκλώματος μετρήθηκε ρεύμα στάτη 200A για ρεύμα διεγέσεως 40A το οποίο στη δοκιμή κενού φορτίου αντιστοιχεί σε τάση ακροδεκτών στάτη 1100V. Θεωρώντας το μαγνητικό κύκλωμα σταθερό να υπολογισθεί η ΗΕΔ διεγέρσεως για ονομαστική φόρτιση με ΣΙ φορτίου 0.8 επαγωγικό.

### Λύση

Από τη δοκιμή συνεχούς ρεύματος η ωμική αντίσταση τυλίγματος στάτη είναι:

$$R = \frac{V_{\Sigma P}}{2I_{\Sigma P}} = \frac{100V}{2(200A)} = 0.25\Omega.$$



Γιά ρεύμα διεγέρσεως 40 A

$$\text{η ανά φάση ΗΕΔ είναι } E_{f1} = \frac{1100}{\sqrt{3}} = 635.1 \text{ V}$$

$$Z_s = \frac{E_{f1}}{I_{sc}} = \frac{635.1}{200} = 3.175 \Omega$$

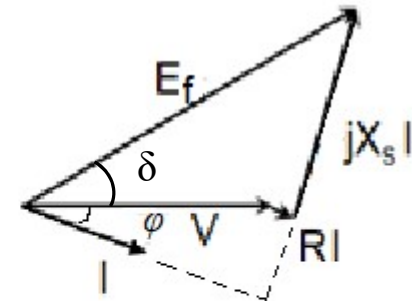
$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R^2} = \sqrt{(3.175)^2 - (0.25)^2} = 3.175 \Omega$$

$$\text{Σε πλήρες φορτίο ισχύει: } I = \frac{1200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 3300} = 210 \text{ A}$$

$$V = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{3300}{\sqrt{3}} = 1905.2 \text{ V}$$

$$\cos \phi = 0.8, \sin \phi = \sin \cos^{-1} 0.8 = 0.6$$

$$\begin{aligned} E_f &= \sqrt{(V \cos \phi + IR)^2 + (V \sin \phi + IX_s)^2} \\ &= \sqrt{(1905.2 \times 0.8 + 210 \times 0.25)^2 + (1905.2 \times 0.6 + 210 \times 3.175)^2} \\ &= 2400 \text{ V} \end{aligned}$$

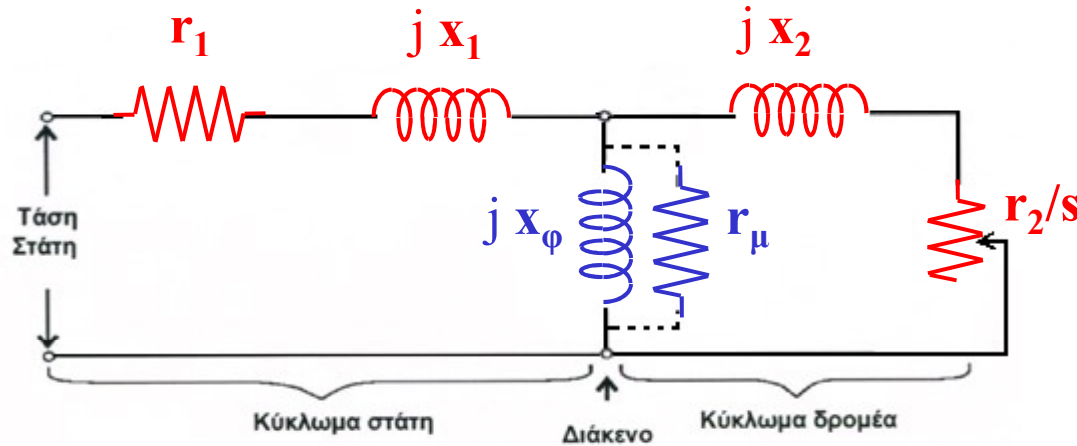




## Ασύγχρονες Μηχανές

Ισοδύναμο κύκλωμα (ανά φάση) : προσέγγιση θεμελιώδους

συνιστώσας



Ολίσθηση

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

Σύγχρονη ταχύτητα

$$n_s = \frac{120 f}{p}$$

τυλίγματα, πυρήνας:  $r_\mu \gg jx_\phi > jx_1, jx_2$

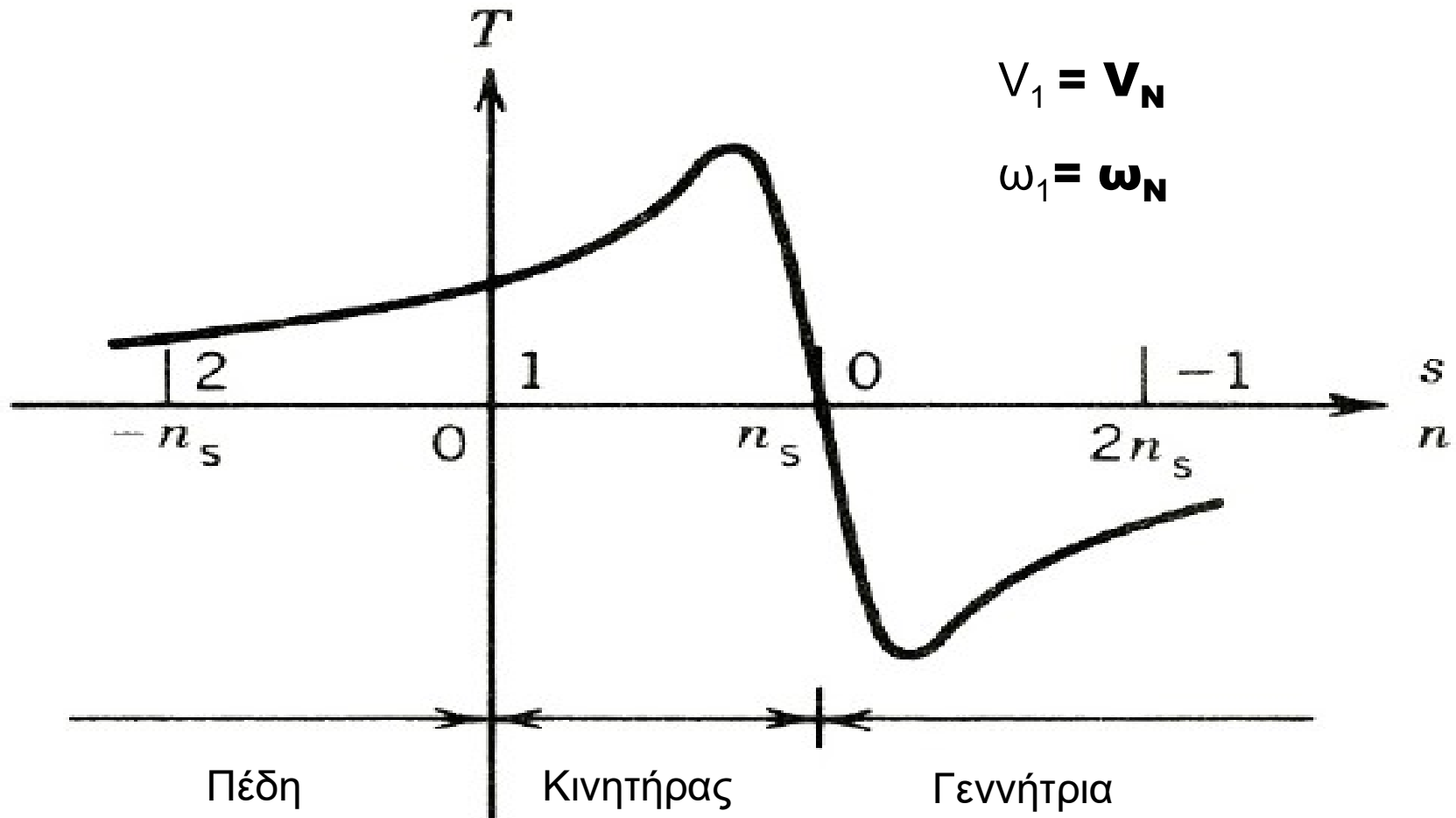
Ισχύς διακένου  $P_\delta = 3 \left( \frac{r_2}{s} \right) I_2^2$

$\nearrow 3 \left( \frac{1-s}{s} \right) r_2 I_2^2$  Μηχανική ισχύς  
 $\searrow 3 r_2 I_2^2$  Απώλειες χαλκού δρομέα



## Ασύγχρονες Μηχανές

### Χαρακτηριστικές λειτουργίας ροπής - ταχύτητας







## Ασύγχρονες Μηχανές - Εφαρμογή

Ασύγχρονη τριφασική διπολική μηχανή 208 V, 60 Hz, 15 HP, τυλιγμένου δρομέα συνδέσεως αστέρα, εμφανίζει απώλειες πυρήνα 180 W, μηχανικές 250 W και όταν λειτουργεί σε ονομαστικές συνθήκες εμφανίζει ολίσθηση 5%. Οι παραμετροί του ανά φάση ισοδυνάμου κυκλώματος ανηγμένου στον στάτη είναι:

$$R_1 = 0.200 \, \Omega$$

$$R_2 = 0.120 \, \Omega$$

$$X_M = 15.0 \, \Omega$$

$$X_1 = 0.410 \, \Omega$$

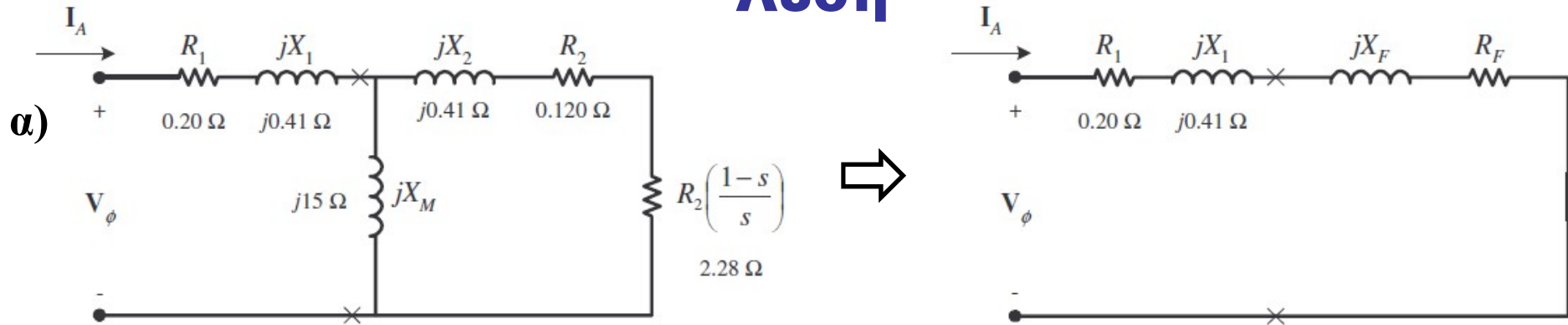
$$X_2 = 0.410 \, \Omega$$

Ζητούνται:

- α) Για ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας να υπολογισθούν το ρεύμα στάτη, οι απώλειες χαλκού στάτη, η ισχύς διακένου, η εσωτερική μηχανική ισχύς δρομέα, η ηλεκτρομαγνητική ροπή, η ροπή στον άξονα, ο βαθμός απόδοσης και η ταχύτητα του δρομέα.
- β) Η ροπή ανατροπής και η αντίστοιχη ολίσθηση,
- γ) Η τιμή τριών ίδιων αντιστάσεων αντίσταση (τιμή ανηγμένη στον στάτη) οι οποίες συνδεόμενες σε σειρά με τα τυλιγματα του δρομέα εξασφαλίζουν μέγιστη ροπή κατά την εκκίνηση.



## Λύση



$$Z_F = \frac{1}{\frac{1}{jX_M} + \frac{1}{Z_2}} = \frac{1}{\frac{1}{j15 \Omega} + \frac{1}{2.40 + j0.41}} = 2.220 + j0.745 = 2.34 \angle 18.5^\circ \Omega$$

Η φασική τάση τροφοδοσίας είναι  $208 \text{ V}/\sqrt{3} = 120 \text{ V}$  και επομένως:

$$I_L = I_A = \frac{V_\phi}{R_1 + jX_1 + R_F + jX_F} = \frac{120 \angle 0^\circ \text{ V}}{0.20 \Omega + j0.41 \Omega + 2.22 \Omega + j0.745 \Omega}$$

$$I_L = I_A = 44.8 \angle -25.5^\circ \text{ A}$$

$$P_{\text{SCL}} = 3I_A^2 R_1 = 3(44.8 \text{ A})^2 (0.20 \Omega) = 1205 \text{ W}$$



Η ηλεκτρομαγνητική ισχύς διακένου είναι:

$$P_{AG} = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} = 3I_A^2 R_F = 3(44.8 \text{ A})^2 (2.220 \Omega) = 13.4 \text{ kW}$$

Η εσωτερική μηχανική ισχύς δρομέα είναι:

$$P_{\text{conv}} = (1 - s) P_{AG} = (1 - 0.05)(13.4 \text{ kW}) = 12.73 \text{ kW}$$

Η ηλεκτρομαγνητική ροπή είναι:

$$\tau_{\text{ind}} = \frac{P_{AG}}{\omega_{\text{sync}}} = \frac{13.4 \text{ kW}}{(3600 \text{ r/min}) \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ r}} \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} = 35.5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Η ισχύς εξόδου είναι:

$$P_{\text{OUT}} = P_{\text{conv}} - P_{\text{mech}} - P_{\text{core}} = 12.73 \text{ kW} - 250 \text{ W} - 180 \text{ W} = 12.3 \text{ kW}$$



Η ταχύτητα του δρομέα είναι:

$$n_m = (1 - s) n_{\text{sync}} = (1 - 0.05)(3600 \text{ r/min}) = 3420 \text{ r/min}$$

Η ροπή στον άξονα είναι:

$$\tau_{\text{load}} = \frac{P_{\text{OUT}}}{\omega_m} = \frac{12.3 \text{ kW}}{(3420 \text{ r/min}) \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ r}} \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} = 34.3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Ο βαθμός απόδοσης είναι:

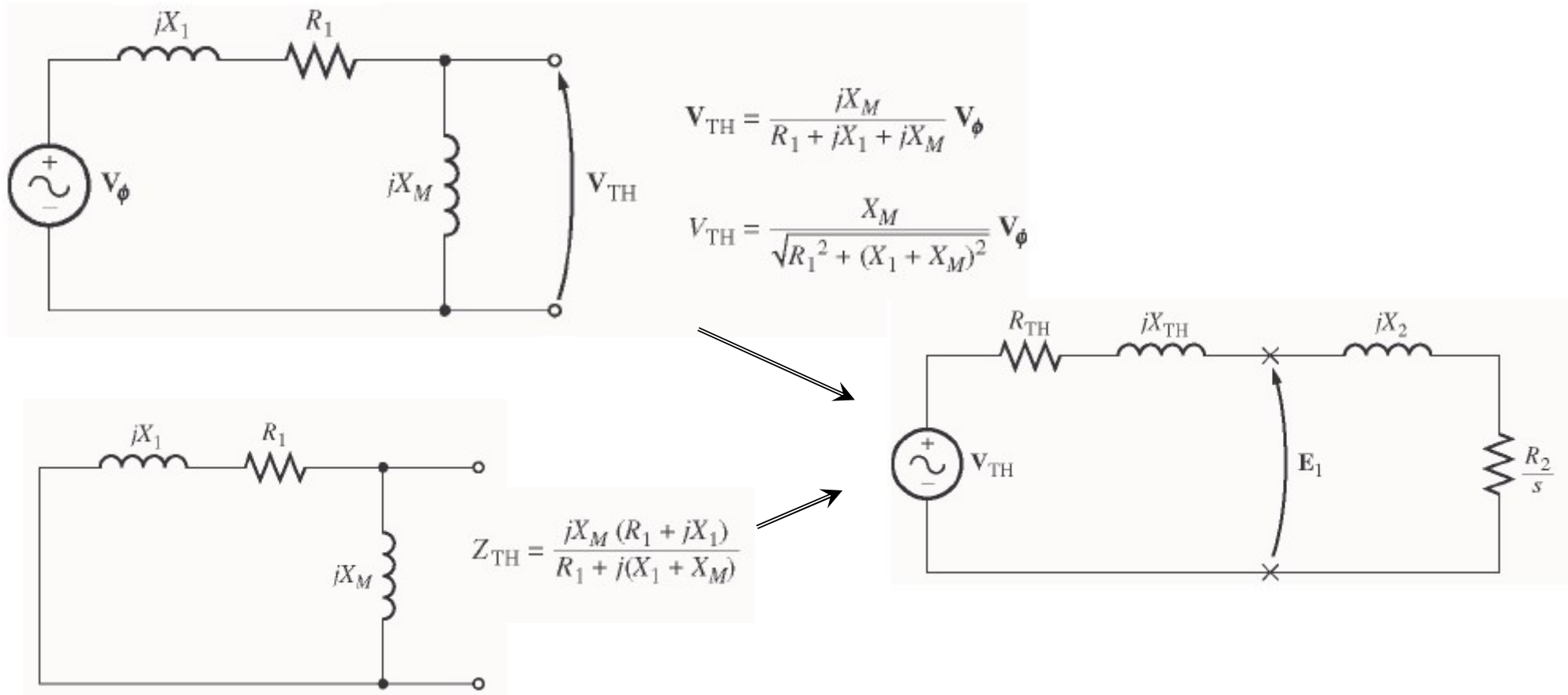
$$\eta = \frac{P_{\text{OUT}}}{P_{\text{IN}}} \times 100\% = \frac{P_{\text{OUT}}}{3V_{\phi} I_A \cos \theta} \times 100\% = \frac{12.3 \text{ kW}}{3(120 \text{ V})(44.8 \text{ A}) \cos 25.5^{\circ}} \times 100\% = 84.5\%$$

Η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του δρομέα είναι:

$$\omega_m = (3420 \text{ r/min}) \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ r}} \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 358 \text{ rad/s}$$



β) Για τον υπολογισμό της ροπής ανατροπής χρησιμοποιούμε το απλουστευμένο ισοδύναμο κύκλωμα σειράς στάτη – κλάδου μαγνήτισης κατά Thevenin ως εξής:





$$Z_{TH} = \frac{jX_M (R_1 + jX_1)}{R_1 + j(X_1 + X_M)} = \frac{(j15 \Omega)(0.20 \Omega + j0.41 \Omega)}{0.20 \Omega + j(0.41 \Omega + 15 \Omega)} = 0.1895 + j0.4016 \Omega = 0.444 \angle 64.7^\circ \Omega$$

$$V_{TH} = \frac{jX_M}{R_1 + j(X_1 + X_M)} V_\phi = \frac{(j15 \Omega)}{0.22 \Omega + j(0.43 \Omega + 15 \Omega)} (120 \angle 0^\circ \text{ V}) = 116.8 \angle 0.7^\circ \text{ V}$$

Η ροπή ανατροπής και η αντίστοιχη ολίσθηση είναι:

$$s_{max} = \frac{R_2}{\sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH} + X_2)^2}}$$

$$s_{max} = \frac{0.120 \Omega}{\sqrt{(0.1895 \Omega)^2 + (0.4016 \Omega + 0.410 \Omega)^2}} = 0.144$$

$$\tau_{max} = \frac{3V_{TH}^2}{2\omega_{sync} R_{TH} + \sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH} + X_2)^2}}$$

$$\tau_{max} = \frac{3(116.8 \text{ V})^2}{2(377 \text{ rad/s}) 0.1895 \Omega + \sqrt{(0.1895 \Omega)^2 + (0.4016 \Omega + 0.410 \Omega)^2}} = 53.1 \text{ N} \cdot \text{m}$$



γ) Η αντίσταση (τιμή ανηγμένη στον στάτη) που πρέπει να συνδεθεί σε σειρά με τα τυλιγματα του δρομέα προκειμένου να εξασφαλισθεί μέγιστη ροπή κατά την εκκίνηση είναι:

$$S_{\max} = \frac{R_2}{\sqrt{R_{\text{TH}}^2 + (X_{\text{TH}} + X_2)^2}}$$
$$1.00 = \frac{R_2}{\sqrt{(0.1895 \Omega)^2 + (0.4016 \Omega + 0.410 \Omega)^2}}$$
$$R_2 = 0.833 \Omega$$

Επομένως:  $R_{\varepsilon\xi} = 0.833 - 0.12 = 0.713 \Omega$





## Μελέτη Ροών Φορτίου

Η μελέτη ροών ισχύος (ροών φορτίου) είναι το πιο σημαντικό εργαλείο ανάλυσης των ΣΗΕ γιατί οι μελέτες ροών φορτίου είναι απαραίτητες:

1. Για την **ασφάλεια** του δικτύου δικτύου (μελέτη και n-1 λειτουργίας)
2. Για την **οικονομικότητα** της λειτουργίας
3. Για τον **σχεδιασμό** ανάπτυξης και επέκτασης του ΣΗΕ

Με κύριο στόχο την εξασφάλιση:

$$\mathbf{V} = \mathbf{V}_N \pm 5\% \mathbf{V}_N \quad \longleftrightarrow \quad \mathbf{Q} \text{ (άεργος ισχύς)}$$

$$\Delta\delta < 90^\circ \quad \longleftrightarrow \quad \mathbf{P} \text{ (ενεργός ισχύς)}$$



## Μελέτη Ροών Φορτίου

Κατάστρωση μιγαδικής εξίσωσης ροής φορτίου  
(Ισοζύγιο ενεργού και αέργου ισχύος στον ζυγό  $k$ )

$$\mathbf{S}_k = \mathbf{S}_{Gk} - \mathbf{S}_{Dk} = \mathbf{Y}_{kk}^* \cdot V_k^2 + V_k \cdot \sum_{m \in A(k)} \mathbf{Y}_{km}^* \cdot V_m^*$$

$$= V_k y_{kk}^* V_k^* + V_k \sum_{m \in A(k)} y_{km}^* V_k^* - V_k \sum_{m \in A(k)} y_{km}^* V_m^*$$

$$= \underbrace{V_k I_k^*}_{\text{εγκάρσια}} + \underbrace{V_k \sum_{m \in A(k)} I_{km}^*}_{\text{ακτινικές}}$$

εγκάρσια  
ροή ισχύος

ακτινικές  
ροές ισχύος



## Μελέτη Ροών Φορτίου

Κατάστρωση επί μέρους εξισώσεων ροής φορτίου

(πραγματικού και φανταστικού μέρους : ισοζύγια ενεργού και αέργου ισχύος στον ζυγό k)

$$P_{Gk} - P_{Dk} = G_{kk} \cdot V_k^2 + V_k \cdot \sum_{m \in A(k)} V_m \cdot G_{km} \cdot \cos(\delta_k - \delta_m) + V_k \cdot \sum_{m \in A(k)} V_m \cdot B_{km} \cdot \sin(\delta_k - \delta_m)$$

$$Q_{Gk} - Q_{Dk} = -B_{kk} \cdot V_k^2 + V_k \cdot \sum_{m \in A(k)} V_m \cdot G_{km} \cdot \sin(\delta_k - \delta_m) - V_k \cdot \sum_{m \in A(k)} V_m \cdot B_{km} \cdot \cos(\delta_k - \delta_m)$$



## Μελέτη Ροών Φορτίου Χαρακτηρισμός ζυγών

1. Ζυγός ταλάντωσης ή ζυγός αναφοράς
  - Γνωστά το μέτρο ( $V$ ) και η γωνία της τάσης ( $\delta=0$ ) του ζυγού.
2. Ζυγοί παραγωγής ή ζυγοί PV
  - Γνωστά η έγχυση ενεργού ισχύος ( $P_G-P_D$ ) και το μέτρο της τάσης ( $V$ ) του ζυγού
  - Παρατήρηση: οι ζυγοί που έχουν γεννήτριες είναι ζυγοί PV με εξαίρεση τον ζυγό αναφοράς
3. Ζυγοί φορτίου ή ζυγοί PQ
  - Γνωστά η έγχυση ενεργού ισχύος ( $P_G-P_D$ ) και η έγχυση αέργου ισχύος ( $Q_G-Q_D$ ) στον ζυγό
  - Παρατήρηση: αν ένας ζυγός δεν έχει ούτε γεννήτρια ούτε φορτίο, τότε είναι ζυγός PQ (μηδενικών φορτίων ενεργού και αέργου ισχύος)



## Μελέτη Ροών Φορτίου

### Χαρακτηρισμός ζυγών – κατάστρωση εξισώσεων

Σε ένα ΣΗΕ με  $n$  ζυγούς συνολικά εκ των οποίων οι  $m$  είναι ζυγοί φορτίου έστω ότι υιοθετείται ακόλουθη αρίθμηση ζυγών :

1. Ο ζυγός 1 είναι ο ζυγός ταλάντωσης
2. Οι ζυγοί 2 έως  $n-m$  είναι ζυγοί παραγωγής
3. Οι ζυγοί  $n-m+1$  έως  $n$  είναι οι ζυγοί φορτίου



## Τεχνικές Επίλυσης Προβλήματος Ροών Φορτίου

### Εξίσωση Ροή Φορτίου Ζυγού $k$

$$\mathbf{S}_k = \mathbf{S}_{Gk} - \mathbf{S}_{Dk} = \mathbf{Y}_{kk}^* \cdot V_k^2 + \mathbf{V}_k \cdot \sum_{m \in A(k)} \mathbf{Y}_{km}^* \cdot \mathbf{V}_m^*$$

### Μέθοδος Gauss-Seidel

$$\mathbf{V}_k^{(i+1)} = \frac{1}{\mathbf{Y}_{kk}} \cdot \left\{ \frac{P_k - jQ_k^{(i)}}{[\mathbf{V}_k^{(i)}]^*} - \sum_{m \in A_1(k)} \mathbf{Y}_{km} \cdot \mathbf{V}_m^{(i+1)} - \sum_{m \in A_2(k)} \mathbf{Y}_{km} \cdot \mathbf{V}_m^{(i)} \right\}$$

- $A_1(k)$  είναι το υποσύνολο των ζυγών που συνδέονται με τον ζυγό  $k$ , για τους οποίους η τάση έχει ήδη υπολογιστεί στην ανακύκλωση  $i + 1$ .
- $A_2(k)$  είναι το υποσύνολο των ζυγών που συνδέονται με τον ζυγό  $k$ , για τους οποίους η τάση έχει υπολογιστεί στην ανακύκλωση  $i$ .



## Εφαρμογή

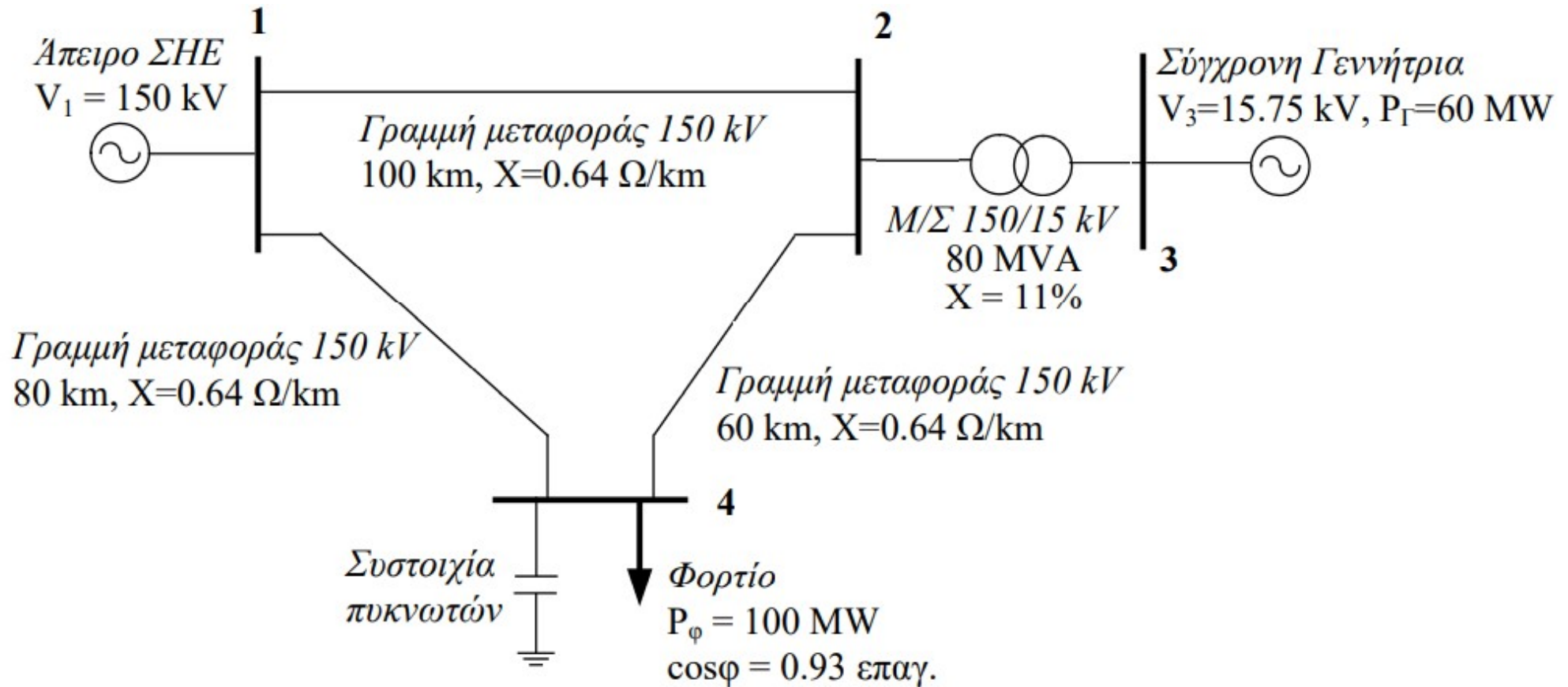
Το τριφασικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας 50 Hz του σχήματος τροφοδοτείται από άπειρο σύστημα τάσης  $V_1=150$  kV και από σύγχρονη γεννήτρια, η οποία παράγει ισχύ 60 MW υπό τάση 15.75 kV. Το φορτίο του συστήματος συνδέεται στον ζυγό 4 και απορροφά ισχύ  $P_\phi=100$  MW με συντελεστή ισχύος 0.93 επαγωγικό. Η ωμική αντίσταση και η εγκάρσια αγωγιμότητα των γραμμών αμελούνται. Ζητούνται:

- α) Στο ζυγό 4 συνδέεται σε συνδεσμολογία αστέρα συστοιχία τριών όμοιων πυκνωτών έτσι ώστε ο συντελεστής ισχύος του φορτίου στο ζυγό 4 να γίνεται ίσος με τη μονάδα όταν η τάση  $V_4$  είναι ίση με την ονομαστική. Να υπολογιστεί η χωρητικότητα κάθε πυκνωτή.
- β) Το μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα σε ανά μονάδα (α.μ.) τιμές, με όλα τα μεγέθη ανηγμένα σε βάση ισχύος 100 MVA και τάσης 150 kV στην πλευρά των γραμμών μεταφοράς.
- γ) Να υπολογιστεί ο πίνακας αγωγιμοτήτων του δικτύου.
- δ) Αν  $V_4 = 1.016 \angle -7^\circ$  αμ και  $V_1 = 1.0 \angle 0^\circ$  αμ, να υπολογιστεί η ροή ενεργού και αέργου ισχύος που φθάνει στο ζυγό 4 από τη γραμμή 1-4 καθώς και οι άεργες απώλειες της γραμμής 1-4.
- ε) Για τις συνθήκες του ερωτήματος (δ), να υπολογιστεί η ενεργός ισχύς που παρέχει το άπειρο ΣΗΕ καθώς και η ενεργός ισχύς της γραμμής 2-4.



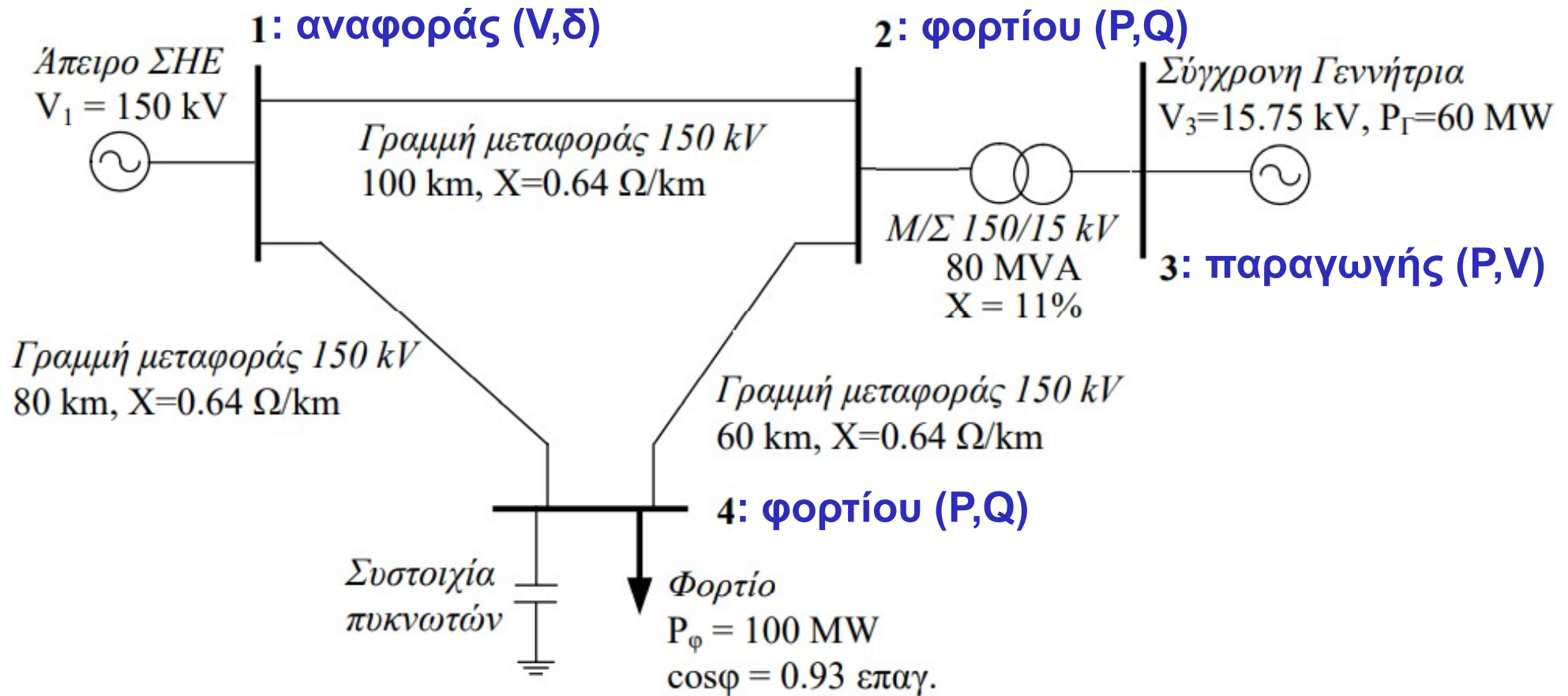


## Εφαρμογή





## Λύση (χαρακτηρισμός ζυγών)





## Λύση (αντιστάθμιση αέργου ισχύος)

$$\alpha) Q = P * \tan \varphi = 100 * \tan(\cos^{-1}(0.93)) = 39.5 \text{ MVAR} .$$

$$C = \frac{Q}{3 * 2 * \pi * f * V^2} = \frac{39.5}{3 * 2 * \pi * 50 * (150 / \sqrt{3})^2} \Rightarrow C = 5.59 \mu F .$$



## Λύση (μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα σε ανά μονάδα )

**β)** Η βασική τάση των γραμμών μεταφοράς είναι  $Z_B = \frac{V_B^2}{S_B} = \frac{150^2}{100} = 225 \Omega$ .

**Γραμμές μεταφοράς:**  $Z_{12} = jX_{12} = j \frac{100 * 0.64}{225} = j 0.284 \alpha\mu$ ,

$Z_{14} = jX_{14} = j \frac{80 * 0.64}{225} = j 0.228 \alpha\mu$ ,  $Z_{24} = jX_{24} = j \frac{60 * 0.64}{225} = j 0.171 \alpha\mu$ .

**Μ/Σ:**  $Z_{23} = jX_{23} = j0.11 * \frac{100 \text{ MVA}}{80 \text{ MVA}} = j 0.1375 \alpha\mu$ .

**Γεννήτρια ζυγού 3:**  $V_3 = \frac{15.75}{15} = 1.05 \alpha\mu$ ,  $P_{G3} = \frac{60}{100} = 0.6 \alpha\mu$ .

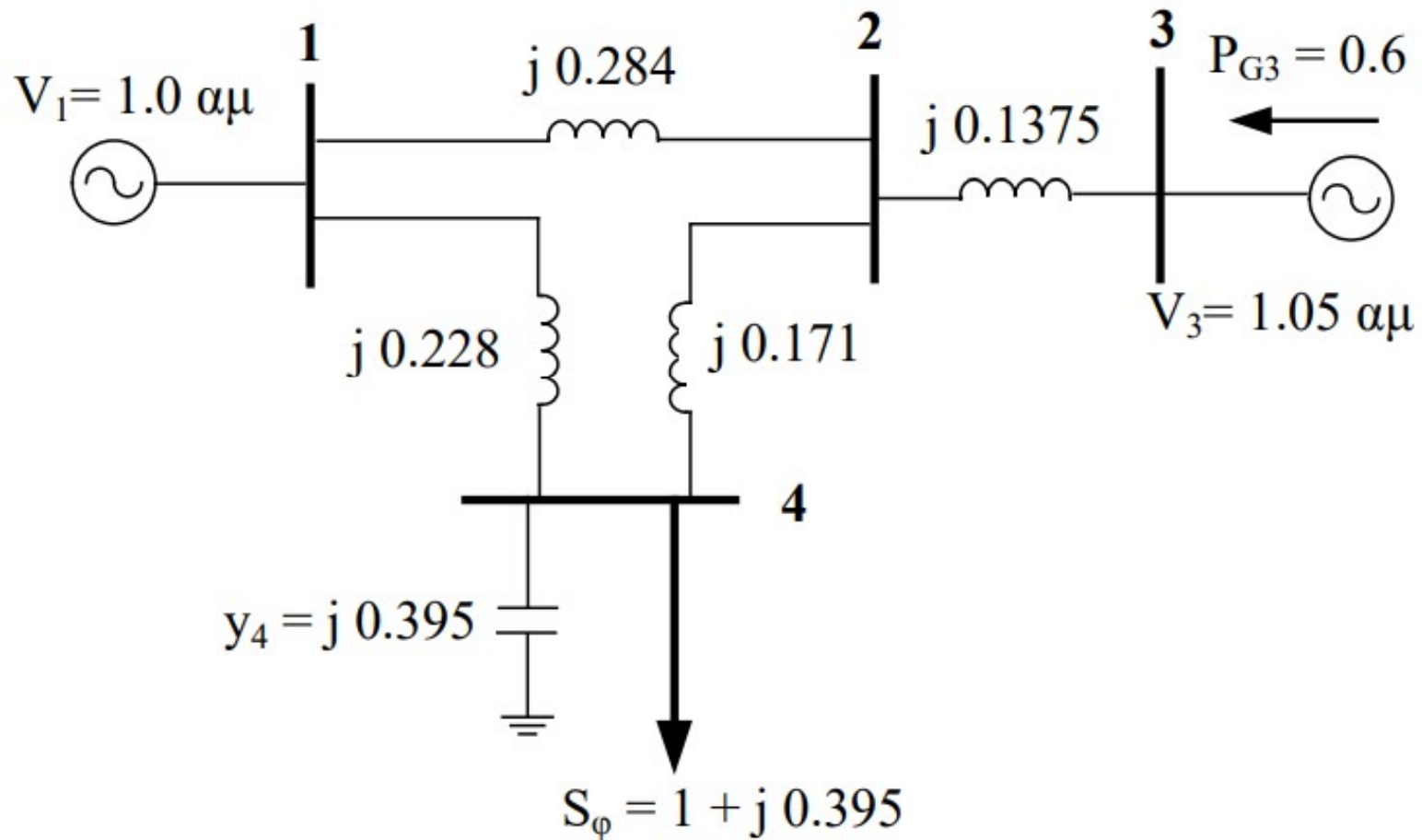
**Άπειρος ζυγός:**  $V_1 = \frac{150}{150} = 1.0 \alpha\mu$ .

**Φορτίο ζυγού 4:**  $P_\varphi = \frac{100}{100} = 1.0 \alpha\mu$ ,  $Q_\varphi = P_\varphi * \tan \varphi = 1.0 * \tan(\cos^{-1}(0.93)) = 0.395 \alpha\mu$ .

**Πυκνωτής ζυγού 4:**  $y_4 = j (2 * \pi * f * C) * Z_B = j (2 * \pi * 50 * 5.59 * 10^{-6}) * 225 = j 0.395 \alpha\mu$ .



## Λύση (μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα σε ανά μονάδα )





## Λύση (μήτρα αγωγιμοτήτων)

γ) Ο πίνακας αγωγιμοτήτων του δικτύου είναι:

$$[\mathbf{Y}] = j \begin{bmatrix} -7.91 & 3.52 & 0.00 & 4.39 \\ 3.52 & -16.64 & 7.27 & 5.85 \\ 0.00 & 7.27 & -7.27 & 0.00 \\ 4.39 & 5.85 & 0.00 & -9.84 \end{bmatrix}$$





## Λύση (υπολογισμός ακτινικών ρών ισχύος)

$$\delta) \text{ Είναι } P_{14} = \frac{V_1 * V_4}{X_{14}} * \sin(\delta_1 - \delta_4) = \frac{1.0 * 1.016}{0.228} * \sin(0^0 + 7^0) \Rightarrow P_{14} = 0.543 \alpha\mu .$$

$$Q_{14} = \frac{V_1^2}{X_{14}} - \frac{V_1 * V_4}{X_{14}} * \cos(\delta_1 - \delta_4) = \frac{1^2}{0.228} - \frac{1.0 * 1.016}{0.228} * \cos(0^0 + 7^0) \Rightarrow Q_{14} = -0.037 \alpha\mu .$$

$$Q_{41} = \frac{V_4^2}{X_{14}} - \frac{V_1 * V_4}{X_{14}} * \cos(\delta_4 - \delta_1) = \frac{1.016^2}{0.228} - \frac{1.0 * 1.016}{0.228} * \cos(-7^0 - 0^0) \Rightarrow Q_{41} = 0.105 \alpha\mu .$$

Άεργες απώλειες γραμμής 1-4:

$$Q_{L,1-4} = Q_{14} + Q_{41} = -0.037 + 0.105 \Rightarrow Q_{L,1-4} = 0.068 \alpha\mu = 6.8 \text{ MVAR} .$$





## Λύση (υπολογισμός ισοζυγίου ισχύος ζυγών)

ε) Το άπειρο ΣΗΕ παρέχει ενεργό ισχύ:

$$P_{G1} = P_{\varphi} - P_{G3} = 1 - 0.6 \Rightarrow P_{G1} = 0.4 \text{ αμ} = 40 \text{ MW} .$$

$$P_{24} = P_{\varphi} - P_{14} = 1 - 0.543 \Rightarrow P_{24} = 0.457 \text{ αμ} = 45.7 \text{ MW} .$$